

Aus der Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- u. Kieferkrankheiten
Direktor: Prof. Dr. med. Dr. med. dent. hab. Hans Heuser

**Vergleichende Untersuchungen über Porosität,
Oberflächenrauhigkeit und Kristallaufbau
von Hartgips- und Einbettmassemodellen
hergestellt nach dem
Zentrifugier- und nach dem Einrüttelverfahren**

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnheilkunde
der hohen Medizinischen Fakultät
der Philipps-Universität Marburg

vorgelegt von

Carola Fürer

Zahnärztin aus Korbach

Marburg 1966

Kleinoffsetdruck: Görich & Weiershäuser, Marburg

Aus der Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- u. Kieferkrankheiten
Direktor: Prof. Dr. med. Dr. med. dent. hab. Hans Heuser

**Vergleichende Untersuchungen über Porosität,
Oberflächenrauhigkeit und Kristallaufbau
von Hartgips- und Einbettmassemodellen
hergestellt nach dem
Zentrifugier- und nach dem Einrüttelverfahren**

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnheilkunde
der hohen Medizinischen Fakultät
der Philipps-Universität Marburg

vorgelegt von

Carola Fürer

Zahnärztin aus Korbach

Marburg 1966



Angenommen von der Medizinischen Fakultät
der Philipps-Universität, Marburg a.d.Lahn
am: 30. 6. 66

Dekan: Prof. Dr. Otto Braun-Falco
Referent: Prof. Dr. Georg Janke
Korreferent: Prof. Dr. Dr. Hans Heuser

Disposition

	Seite
<u>A. Einleitung:</u>	1
I. Geschichtliches und Chemisch-physikalisches über Gips	1
II. Geschichtliches und Chemisch-physikalisches über Einbettmassen	3
<u>B. Hauptteil:</u>	5
I. Einführung in das Thema	5
II. Die Zentrifugiermethode	5
III. Die Porosität	7
a.) Über Porosität und Methoden für ihre Messung	7
b.) Versuchsanordnung	9
c.) Vorversuche	11
d.) Auswertung der Vorversuche	20
e.) Fehlerquellenbetrachtung	20
f.) Ergebnisse der Wägungen	22
g.) Auswertung der Versuchsergebnisse zur Bestimmung der Porosität	33
IV. Die Oberflächenrauigkeit	35
a.) Die Oberflächenrauigkeit und Methoden für ihre Messung	35
b.) Versuchsanordnung	36
c.) Ergebnisse	41
d.) Auswertung der Versuchsergebnisse zur Bestimmung der Oberflächenrauigkeit	47
V. Die Kristallformen und Kristallgrößen	48
a.) Pulverpräparate	48
b.) Dünnschliffe	49
<u>C. Zusammenfassung</u>	55
<u>D. Literaturverzeichnis</u>	58



Digitized by the Internet Archive
in 2026

A. E I N L E I T U N G

I. Geschichtliches und Chemisch-physikalisches über den Gips

Schon die alten Ägypter benutzten den Gips. So wurde u.a. die Cheopspyramide mit einem Mörtel erbaut, der zu 80% Gips enthält¹²⁾. Auch HERODOT, PLATO, THEOPHRASTUS und RUFINIUS kannten das Mineral Gips; genaue Übersetzungen mit den Worten:

"Kreide", "Mondstein", "Schaum"⁸⁾. PLINIUS berichtet, daß der Künstler Lysistratus erstmals einen Gesichtsabdruck mit "lapis specularis" genommen hat. LEEUWENHOEK erkannte als Erster 1695⁸⁾ mikroskopisch Gipskristalle und trieb durch Erhitzen Kristallwasser aus. Die Zusammensetzung aus "Kalkerde und Schwefelsäure" ermittelten MARKGRAF und BERGMANN 1750⁸⁾.

Gips wird heute in Form von Rohgips fast in der ganzen Welt abgebaut. Die riesigen Lager denkt man sich ausschließlich aus Meerwasser gebildet, ähnlich wie Salzlager durch Verdunstung^{6,8)}. Er ist das monoklin-prismatische Calciumsulfat-Dihydrat mit einer großen Mannigfaltigkeit in Kombination, Tracht und Habitus. HINTZE⁸⁾ unterscheidet

- 1.) Schwalbenschwanzzwillinge⁸⁾;
- 2.) flächenreichere dicktaflige Prismen,
- 3.) kurze, dicksäulige Zwillinge.

Damit der Gips die Fähigkeit erlangt, mit Wasser versetzt zu erhärten, wird ihm durch einen komplizierten Brennvorgang bei ca. 130°⁸⁾ Wasser entzogen, wobei er zum α -Halbhydrat wird. 1899 bekommt LEWINSKI das erste α -Halbhydrat-Patent für sein

"Verfahren zur Herstellung von gehärtetem Gips durch Dämpfen von Gipsstein unter Druck"¹⁷⁾. Dieses α -Halbhydrat ist das Grundmaterial des Hartgipses. Es entsteht während des Erhitzens von Rohgips bei 2-10 atü ca. 2-10 Std.¹⁷⁾ lang, wobei Zusätze von hygroskopischen Salzen ein Absinken der Zersetzungstemperatur von Dihydrat bewirken. Die Salze sorgen gleichzeitig für die zur Bildung von α -Halbhydrat erforderliche Feuchtigkeit.

Bei der Erhärtung des Gipsbreies wird das ursprünglich als Flüssigkeit vorhandene Wasser von dem Gipspulver chemisch gebunden. Die Gipskörnchen werden nach dem Anrühren mit Wasser durchsichtig und bilden ein Kalziumsulfat-Dihydrat⁶⁾. Nach SCHOENBECK wird das Dihydrat aus der mit $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ übersättigten Lösung als Gel kolloidal abgeschieden. Aus diesem Gipsgel wird das Dihydrat unter Verfilzung der Kristallnadeln auskristallisiert. Das physikalisch gebundene Wasser wird im Laufe der Zeit wieder ausgeschieden. Übrig bleibt eine poröse Masse aus Dihydrat, der erhärtete Gips.

Es gibt Gipshärtungsverfahren z.B. durch Zusatz von Paraffin, Wasserglas, Borax⁶⁾ Bauzement¹⁵⁾. Sie sollen aber bei uns¹⁷⁾ nicht mehr gebräuchlich sein.

Auch die in der vorliegenden Arbeit untersuchte Zentrifugiermethode ist ein Verfahren zur Erzielung größerer Härte.

II. Geschichtliches und Chemisch-physikalisches

über Einbettmassen

Seitdem TAGGART im Jahre 1907 seine Gußmethoden zur Herstellung von Metallfüllungen bekanntgab, sind mannigfaltige Veröffentlichungen zur Verbesserung dieser Methode gemacht worden. Das Hauptproblem war und ist noch heute, die natürliche Schwindung des Wachses (1-11 Vol%) und der Edelmetalle (1,25-2% linear)⁶⁾ unter anderem durch eine expandierende Einbettmasse auszugleichen.

Die Einbettmassen sind eine Mischung aus feuerfesten Stoffen wie Asbest, Kaolin, Quarz und Schamotte⁶⁾ mit Gips als Bindemittel. Während des Abbindens einer Einbettmasse zeigt sich jedoch eine positive Volumenbewegung, die durch die Hydratation des Gipses bedingt ist. Durch mannigfaltige Methoden wird versucht, die Expansion der Einbettmasse zu unterstützen. GERLACH weist daraufhin, daß ein Wasserüberschuß beim Anrühren eine Kontraktion ergeben kann. Die Firmen KERR und Degussa empfehlen die zweizeitige Einbettung. SCHEU vertritt die hygroskopische Einbettung und erzielt durch Wässern der Muffel während des Abbindens eine größere Expansion. Nach FALCK sollte die Muffel ganz mit Asbest ausgekleidet sein, um die Expansion nicht zu behindern. Schließlich ist die Expansion entscheidend abhängig von der Temperatur der Einbettmasseform während des Gießvorganges. Es lag nahe, expandierende Einbettmassen als Modellmaterial zu verwenden, das WachsmodeLL also direkt auf einem Einbettmassestumpf zu modellieren. SPRENG sagt über seine Methode, die unserem heutigen Modellguß gleichkommt¹⁸⁾: "So entgeht man der Häufung von Fehlerquellen, wie sie den gebräuchlichsten indirekten Herstellungsarten zu eigen ist". Er empfahl

1929 mit Hilfe einer Kupfer-Käppchen-Wachsabdruck-
methode, Modellstümpfe aus Einbettmasse herzustellen.
JANKE⁹⁾ griff 1935 die in Vergessenheit geratene
Methode auf und vervollkommnete sie, indem er em-
pfehl, zur Erzielung größerer Härte die Abdrücke
mit Einbettmasse nach der Schichtkernmethode aus-
zufüllen. DABER⁵⁾ stellte nach dieser Methode sehr
paßgenaue Gußstücke her.

B. H A U P T T E I L

I. Einführung in das Thema

1955 berichtete ÖSTLUND¹³⁾ über sein Zentrifugierverfahren. Er erreichte eine wesentlich größere Härte von Stümpfen durch Einschleudern des Hartgipses in den Abdruck. BUDZINSKI³⁾ benutzte diese Methode zur Herstellung von Einbettmassemodellen; konstatierte aber an Hand seiner Versuchsergebnisse, daß eine größere Homogenität durch eine Kontraktion erkauft wird. Nach WIENHOLD¹⁹⁾ soll jedoch bei Hartgipsmodellen, (er benutzt Durit 20 u. Durit 40-22) hergestellt nach dem Einrüttelverfahren, die Expansion genau so groß sein, wie von Modellen, die nach dem Zentrifugierverfahren angefertigt wurden.

In der vorliegenden Arbeit soll durch eingehendere Versuche festgestellt werden, in wie weit neben der Zunahme der Härte eine Abnahme der Porosität und eine größere Glätte der Oberfläche durch Einzentrifugieren des Modellmaterials in den Abdruck erreicht werden kann.

II. Die Zentrifugiermethode

Die Zentrifuge ist auf Abb.1 zu sehen

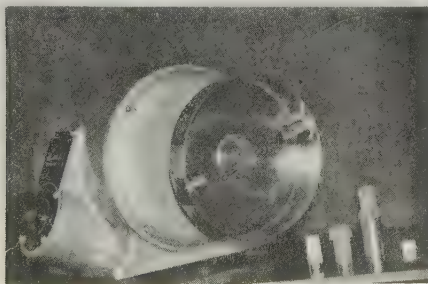


Abb. 1

Sie besteht aus einem Poliermotor auf dessen Spindel eine Scheibe mit breitem Rand aufgesetzt wird. Auf dem Innenrand der Scheibe sind zwei Röhren angelötet, die wegen der gleichmäßigen Auswuchtung des rotierenden Systems einander genau gegenüber liegen. In diese können radial und parallel zur Scheibe zwei Muffeln eingesteckt werden.

Der Kupferabdruck wird zunächst mit einer Papiermanschette versehen, die den Wurzelstumpf markieren soll s. Abb. 2 links.

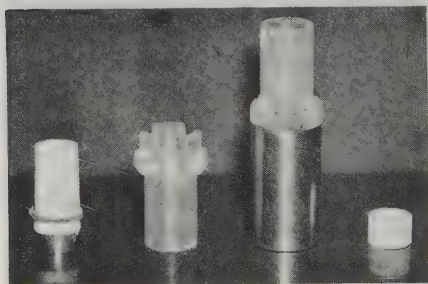


Abb. 2

Dann wird er in eine Muffel eingewachst. Auf die Muffel wird ein Plastiktrichter gesteckt, der mit Gipsbrei gefüllt ist. Die Weite der Trichteröffnung richtet sich nach der Konsistenz des Gipsbreies. Sie ist so gewählt, daß der Brei erst während des Schleudervorganges in den Abdruck einspritzt, nicht aber schon vorher durchtropft. Muffel und Trichter passen genau in die Röhren des Apparates. Es wird bei 3000 U/min geschleudert.

An Hand von Vorversuchen ergab sich, daß für ein Pulver-Wasserverhältnis von 3:1 der Düsendurchmesser 0,4 mm, für 5:1 0,9mm und für 6:1 5 mm betrug.

III. Die Porosität

a.) Über Porosität und Methoden für ihre Messung

Das Wort Porosität kommt von poros (griech.) die Hautröhre. Poröse Materialien sind mit zahlreichen kleinen Hohlräumen durchsetzt, die alle mehr oder weniger miteinander in Verbindung stehen¹⁰⁾. Über die Entstehung von Poren (hier im Kalzit) schreibt SANDER¹⁴⁾, daß durch gekreuzte Translatationen und Zwillingschiebungen bei der Kristallisation eine gegenseitige Blockierung von betätigten Gleitflächen entstehe, die zum Auftreten gerader Porenkanäle führe. Die stetige Zerschörung dieser Vorzeichnungen rufe wirr gekrümmte Fadenporen hervor. Nachkristalline Durchbewegung habe im allgemeinen zur Folge, "daß das Porenvolumen sich vergrößert, durch Rupturen und durch sich blockierende Schiebung und Translatation"¹⁴⁾.

Poren entstehen auch dadurch, daß beim Abbindevorgang überschüssiges Wasser später verdampft. Bläschenförmige Hohlräume hinterläßt die eingerührte Luft

Ein Überblick über die Porosität läßt sich schon durch Mikroskopieren im schrägen Auflicht gewinnen. Dabei zeigt sich, daß die Porosität und Bläschenbildung im Innern des Prüfkörpers zahlreicher sind als an der Oberfläche. Nach der Zentrifugiermethode hergestellte Gipskörper zeigen einen fast homogenen Aufbau (s. Abb. 3 u. 4).

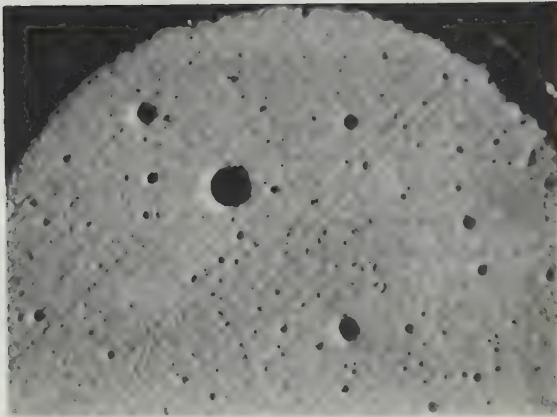


Abb. 2

Eingerüttelter Hartgips (Duroc 1:3) Porosität im Innern. Der Prüfling wurde unter einem Wasserstrahl angeschliffen. Vergr. 1:15 *

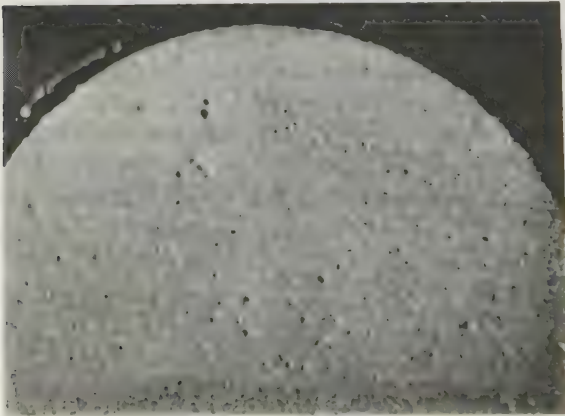


Abb. 4

Eingeschleuderter Hartgips (Duroc 1:3) Porosität im Innern Vergr. 1:15 *

*) Im Fotodruck auf 2/3 verkleinert

Die Messungsmöglichkeiten der Porosität sind vielfältig und richten sich hauptsächlich nach dem Material. Bei der Versuchsanordnung der DIN 53334¹⁰⁾ ist die Luftdurchlässigkeit ein Maß für die Porosität von Leder u.ä. Die Saugfähigkeit im sogen. Tintenversuch ist für dichte Massen z.B. Keramik geeignet. Indem ^{man} von leicht ausmeßbaren Prüfkörpern mittels Trockengewicht und Rauminhalt die Rohwichte bestimmt, kann man bei vergleichenden Versuchen Rückschlüsse auf die Porosität ziehen. Die Rohwichte ist das Gewicht des Körpers einschließlich Poren. Das gesamte Porenvolumen läßt sich mittels dieser Rohwichte dann nur durch Abzug des spezifischen Gewichtes bestimmen. Dazu muß ein poröser Körper aber erst pulverisiert werden. Einfacher ist das Flüssigkeitsaufnahmeverfahren, das auch WINKLER²⁰⁾ anwendet, und nach dem die folgenden Versuchsreihen angestellt wurden. Durch Druck wird entweder Quecksilber²⁰⁾ oder wegen seiner geringeren Viskosität bei dichteren Körpern besser Wasser in die Poren eingetrieben und anschließend die Gewichtszunahme bestimmt.

b.) Versuchsanordnung

Von den zu untersuchenden Materialien, zwei Hartgipsen und zwei Einbettmassen:

- 1.) Duroc
- 2.) Moldano
- 3.) E316
- 4.) Duroterm

wurden mit steigender Pulver:Wasserkonzentration Probekörper in folgender Weise hergestellt:
Das in geschlossenen Behältern aufbewahrte Pulver und abgestandenes Wasser von Zimmertemperatur wurden genau abgewogen. Das Pulver wurde in das Wasser eingestreut und mit der Hand angerührt. Nach

CARLASSARE-TRAVAGLINI⁴⁾ hat handangerührter Gips die besten physikalischen Eigenschaften. Die Anrührzeit war kurz, da ein schnelles Abbinden während des Schleuderns nicht erwünscht war. Nach SCHOENBECK steht nämlich die Abbindezeit im umgekehrten Verhältnis zur Anrührzeit (SCHOENBECK nach FALCK). Der so hergestellte Gips- oder Einbettmassebrei wurde in 39-40 mm Kupferringe 20 sec einzentrifugiert, bzw. in die Ringe eingepinselt und 1 min. auf dem Vibrator gerüttelt. Bei beiden Methoden sind die oberflächlichen Schichten poröser, da Luftbläschen und Wasser aufsteigen. Diese Schichten wurden an der Schleifmaschine abgetrimmt. Es resultierten zylindrische Versuchskörper, die 3 Tage im belüfteten Wärmeschrank bei 60°C getrocknet wurden.

Nach der Bestimmung des Trockengewichtes wurde die Luft aus den Poren mittels einer Wasserstrahlpumpe bei $-0,7 \text{ kg/cm}^2$ evakuiert. Die Probekörper befanden sich dabei in einem Röhrchen, in das aus einer Bürette Wasser gefüllt werden konnte, ohne das Vacuum aufzuheben. Die Apparatur ist aus Abb.5 ersichtlich

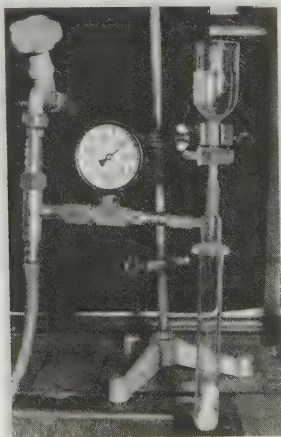


Abb. 5

Setzt man das System jetzt plötzlich mit normalem Luftdruck ins Gleichgewicht, so wird das Wasser mit der Druckdifferenz normaler Luftdruck-Teilvakuum in die Poren hineingetrieben. Nach kurzem Wässern wurden die Probekörper rasch mit einem Leinenläppchen abgetrocknet und sofort gewogen. Der Tränkungs- wert ergibt sich aus der Differenz Naßgewicht-Trockengewicht. Das Wasseraufnahmevermögen W_a als Zeichen der Porosität pro Gramm abgebundenen Gipses errechnet sich aus der Formel:

$$W_a = \frac{\text{Naßgewicht} - \text{Trockengewicht}}{\text{Trockengewicht}} \quad \text{Gramm.}$$

c. V O R V E R S U C H E

Zur Prüfung der Versuchsanordnung und der Versuchsbedingungen wurden folgende Vorversuche für notwendig erachtet und durchgeführt:

Vorversuch I

Zur Prüfung, ob ein Unterdruck von $-0,7 \text{ kg/cm}^2$ zur vollständigen Sättigung eines Prüfkörpers mit Wasser ausreicht, wurde ein Probekörper aus Duroc Mischungsverhältnis Wasser : Pulver = 1:5 hergestellt; 3 Tage getrocknet, unter Vakuum $\approx 1 \text{ Kg/cm}^2$ gewässert, abgetrocknet und gewogen; anschließend 3 Tage getrocknet und bei $-0,7 \text{ kg/cm}^2$ gewässert, abgetrocknet und gewogen.

Die beiden Wägungen ergaben den gleichen Sättigungswert von $1,976 - 1,824 = 0,152 \text{ g Wasser}$.

Vorversuch II

Zur Prüfung, ob durch längeres Wässern mehr Wasser in die Poren eindringt, wurden durch Abdrücke von einem stilisierten Stumpf 6 volumen-

und gewichtgleiche Probekörper aus Moldano Mischungsverhältnis Wasser : Pulver = 1:3 hergestellt. Geringe Gewichtsunterschiede von einigen tausendstel Gramm ließen sich durch Abfeilen ausgleichen. Die Körper wurden evakuiert, verschieden lange gewässert und gewogen.

Prüfkörper I	1,720 g	nach 1 min wässern	gewogen: 1,900 g
Prüfkörper II	1,720 g	nach 5 min wässern	gewogen: 1,904 g
Prüfkörper III	1,720 g	nach 15 min wässern	gewogen: 1,901 g
Prüfkörper IV	1,720 g	nach 30 min wässern	gewogen: 1,906 g
Prüfkörper V	1,720 g	nach 1 Std. wässern	gewogen: 1,904 g
Prüfkörper VI	1,720 g	nach 5 Std. wässern	gewogen: 1,905 g

Prüfkörper No I wurde anschließend 3 Tage gewässert.

Er zeigte einen Sättigungswert von 1,901-1,720 g also das gleiche wie nach 1 min wässern.

Vorversuch III

Zur Prüfung, ob bei einem Mischungsverhältnis Wasser : Pulver = 1:6 bei Hartgipsen und 1:5 bei Einbettmassen genügend Wasser zur Dihydratbildung vorhanden ist, wurden Prüfkörper mit den obigen Mischungsverhältnissen hergestellt, 3 Tage getrocknet und gewogen. Anschließend wurden sie einen Tag lang gewässert, wieder 3 Tage lang getrocknet und gewogen.

Eine Gewichtszunahme durch nachträgliche Dihydratbildung konnten wir nicht feststellen.

Vorversuch IV

Zur Prüfung, ob sich Evakuieren des Gipsbreies vor dem Einrütteln bzw. Einschleudern günstig auf die Porosität der Probekörper auswirkt, wurde folgender Versuch angestellt:

Aus Moldano in steigendem Pulver : Wasserverhältnis

stellten wir Probekörper nach dem Einrüttel- und dem Zentrifugierverfahren her, wobei der angerührte Gipsbrei in der ersten Versuchsreihe sofort verarbeitet wurde, in der zweiten vorher noch 30 sec. bei -1 kg/cm^2 evakuiert wurde.

Laut Tabelle I zeigt sich, daß durch Evakuieren vor dem Einrütteln oder zentrifugieren keine weitere Abnahme der Porosität zu erreichen ist. Der Zeitverlust beim Evakuieren wirkt sich eher negativ auf die Porosität aus; der Gips fängt an abzubinden und es resultiert sogar eine geringe Zunahme der Porosität.

Tabelle 1 zu Vorversuch IV

Moldano. Brei vor der Verarbeitung evakuiert.

Mischungs- verhältnis	Trocken *)	Naß	Diff.	Diff/g	Mittelwerte	
					evakuiert	nicht evaku- iert über- nommen aus Tabelle 6 u. 7
1:3 gerüttelt	1,430	1,675	0,245	0,171	0,165	0,157
	1,616	1,884	0,268	0,166		
	1,621	1,899	0,278	0,171		
	1,514	1,746	0,232	0,153		
1:3 geschleu- dert	1,810	2,032	0,222	0,123	0,118	0,104
	1,686	1,883	0,207	0,123		
	1,491	1,659	0,168	0,112		
	1,620	1,806	0,186	0,115		
1:4 gerüttelt	1,840	2,044	0,204	0,111	0,112	0,106
	1,621	1,808	0,187	0,115		
	1,960	2,189	0,229	0,112		
	2,006	2,225	0,219	0,109		
1:4 geschleu- dert	2,335	2,532	0,197	0,084	0,085	0,089
	1,684	1,830	0,146	0,086		
	2,120	2,306	0,286	0,085		
	1,823	1,980	0,157	0,086		
1:5 gerüttelt	1,997	2,176	0,179	0,090	0,087	0,093
	1,751	1,902	0,151	0,086		
	1,972	2,134	0,162	0,082		
	1,653	1,798	0,145	0,088		
1:5 geschleu- dert	1,908	2,043	0,135	0,071	0,071	0,085
	1,836	1,964	0,128	0,069		
	2,025	2,174	0,149	0,073		
	1,950	2,090	0,140	0,071		

*) Trocken = Gewicht des trockenen Prüfkörpers in g
Naß = Gewicht des naßen Prüfkörpers in g
Diff = Naßgewicht - Trockengewicht in g
Diff/g = Differenz pro Gramm Hartgips oder Einbettmasse

Vorversuch V

Zur Prüfung, ob sich die Dauer der Schleuderzeit auf die Porosität der Probekörper auswirkt, wurden folgende Versuche ausgeführt:

Va.) Durocbrei mit dem Mischungsverhältnis

Wasser : Pulver = 1:4 wurde verschieden lange zentrifugiert. Schon nach 1 sec ist die Porosität gegenüber der Porosität bei einfachem Einrütteln um ca. 45% gesunken, wie aus Tabelle II zu entnehmen ist. Nach 20 sec ist die größte Dichte erreicht. Die Porosität hat um ca. 50% abgenommen. Bei längerer Schleuderzeit steigt sie wieder um ca. 3% an. Die Besprechung dieses Ergebnisses erfolgt an Hand der Dürnschliffe Seite 50.

Vb.) Vergleichsversuche mit Moldano, Mischungsverhältnis 1:4 zeigen das gleiche Ergebnis. Auch hier liegt das Minimum der Porosität bei 20 sec Schleuderzeit.

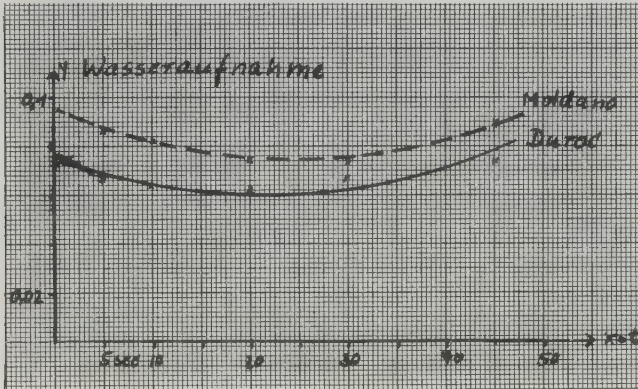
Tabelle 2 zu Vorversuch V a

	Trocken	Naß	Diff	Diff/g	Mittelwerte	Vergleichs- werte über- nommen aus Tabelle 5
Duroc 1:4 gerüttelt	1,502 1,292 1,537	1,692 1,460 1,738	0,190 0,168 0,201	0,127 0,130 0,131	0,129	
1 sec ge- schleudert	1,653 1,686 1,548	1,781 1,802 1,664	0,129 0,116 0,116	0,079 0,073 0,075	0,076	
2 sec	1,798 1,580 1,232	1,933 1,704 1,314	0,135 0,120 0,092	0,075 0,080 0,075	0,077	
3 sec	1,665 1,376 1,670	1,783 1,472 1,791	0,118 0,096 0,121	0,071 0,069 0,072	0,071	
4 sec	1,805 1,515 1,967	1,924 1,619 1,102	0,119 0,104 0,135	0,066 0,070 0,069	0,068	
5 sec	1,931 1,891 1,638	2,056 2,015 1,748	0,125 0,124 0,110	0,065 0,069 0,067	0,067	

10 sec	1,762	1,876	0,114	0,065	0,064
	1,878	2,001	0,123	0,066	
	1,660	1,772	0,112	0,061	
20 sec	1,754	1,856	0,102	0,058	0,062
	1,114	1,187	0,073	0,065	
	1,209	1,286	0,077	0,064	
30 sec	1,239	1,320	0,081	0,065	0,067
	2,000	2,135	0,135	0,067	
	1,590	1,696	0,106	0,067	
45 sec	1,736	1,855	0,119	0,069	0,071
	1,830	1,961	0,131	0,072	
	1,898	1,043	0,145	0,071	
1 min	1,482	1,590	0,107	0,072	0,073
	1,263	1,355	0,092	0,074	
	1,635	1,754	0,119	0,073	
10 min	2,023	2,168	0,145	0,071	0,073
	1,370	1,468	0,098	0,072	
	1,690	1,816	0,126	0,075	

Tabelle 3 zu Vorversuch V b

	Trocken	Naß	Diff.	Diff./g	Mittelwert
Moldanô	1,598	1,738	0,140	0,088	
5 sec	1,625	1,764	0,139	0,086	0,087
	1,858	2,018	0,160	0,086	
10 sec	1,708	1,848	0,140	0,082	
	1,661	1,799	0,138	0,083	0,082
	1,681	1,816	0,135	0,080	
20 sec	1,605	1,731	0,126	0,079	
	1,977	2,129	0,152	0,077	0,076
	1,743	1,871	0,127	0,073	
30 sec	1,750	1,878	0,128	0,073	
	1,778	1,910	0,132	0,074	0,075
	1,810	1,950	0,140	0,077	
45 sec	1,986	2,147	0,161	0,086	
	1,869	2,040	0,171	0,091	0,090
	1,841	2,012	0,171	0,093	
10 min	1,970	2,161	0,191	0,057	
	1,765	1,948	0,183	0,104	0,102
	1,704	1,881	0,177	0,104	



Kurve 1:

Das Wasseraufnahmevermögen als Zeichen der Porosität in Abhängigkeit von der Schleuderzeit.

Graphische Darstellung der Ergebnisse der Vorversuche V a und V b aus Tabelle 2 und 3.

d.) Auswertung der Vorversuche

Die Ergebnisse dieser Vorversuche zeichnen klar den Arbeitsgang der folgenden Hauptversuche vor.

Beim Anrühren des Hartgips oder des Einbettmasses ist zu bedenken, daß sogar noch Wasser : Pulverkonzentration wie 1:6 bzw. 1:5 gut abbinden (Vorversuch III). Diese Mischungsverhältnisse wurden daher in die folgenden Hauptversuche eingeschlossen, obwohl in der Praxis die Verarbeitung eines Breies dieser Konzentrationen kaum möglich ist. Die Bedeutung lag vielmehr in der Vollständigkeit und der Wichtigkeit der Grenzwerte für die graphische Darstellung.

Es ist nach Vorversuch IV nicht nötig, den Brei unter Vakuum anzurühren. Beim nachfolgenden Einschleudern des Breies in den Abdruck ist laut Vorversuch Va und b zu beachten, daß eine Dauer von 20 sec hinsichtlich der Porosität optimal ist.

Wird dann der Probekörper nach dem Abbinden unter Druck gewässert, um an dem Wasseraufnahmevermögen die Porosität erkennen zu können, so ist ein Unterdruck von $0,7 \text{ kg/cm}^2$, wie er z.B. durch eine einfache Wasserstrahlpumpe erreicht wird, völlig ausreichend (Vorversuch I).

Nachdem das Wasser unter Druck eingetrieben wurde, kann der Körper sofort gewogen werden, da er auch durch längeres Wässern nicht noch mehr Wasser aufnimmt (Vorversuch II).

e.) Fehlerquellenbetrachtung

Vergleicht man die zahlreichen Untersuchungen anderer Autoren über Gipse und Einbettmassen, so stellt man eine große Streuung der Ergebnisse fest. Das liegt z.T. am Material selbst, das oft aus sehr

unterschiedlichen Ausgangsstoffen hergestellt wird. Außerdem ist auch der Brennvorgang nicht zu standardisieren. Eine Versuchsreihe, die versehentlich mit Duroc aus einer anderen Dose angestellt wurde, war unbrauchbar, weil das durchschnittliche Wasseraufnahmevermögen hier beträchtlich höher lag als in Vergleichsversuchen. WINKLER²⁰⁾ meint auch, daß einer geringen Änderung der Korngröße schon eine über Erwarten große Änderung der Porosität, vor allem auch der Porengrößenverteilung entspricht.

Eine sehr genaue Bestimmung des Tränkungswertes ist nicht möglich, da zunächst der manuelle Faktor beim Abtrocknen der Prüflinge kleine Ungenauigkeiten ergibt. Zudem verliert der nasse Prüfling während der Wägung an Gewicht, da ein Ausgleich zwischen seiner eigenen Feuchtigkeit und der Luftfeuchtigkeit in der Wiegekammer erfolgt. Bei den Prüfkörpern, die durch Einrütteln hergestellt wurden, verursachen die zahlreichen Poren eine beträchtlichere Inhomogenität des im Versuch belasteten Querschnittes, so daß eine größere Streuung der Ergebnisse zustande kommt. Bei Pulver-Wassermischungen von 6:1 für Hartgipse bzw. 5:1 für Einbettmassen ist der Brei von bröckeliger-trockener Konsistenz und läßt sich schlecht einrütteln oder zentrifugieren. Das Wasseraufnahmevermögen der Prüflinge ist deshalb breiten Schwankungen unterworfen.

Tabelle 4

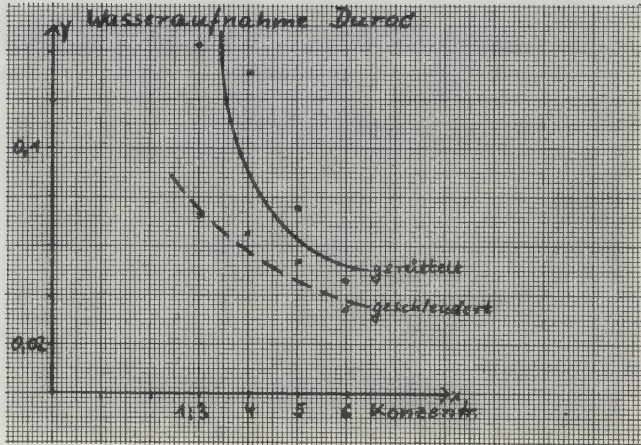
f.) Ergebnisse der Wägungen

	Trocken *)	Naß	Diff	Diff/g	Mittelwert
Duroc 1:3 geschleu- dert	1,579	1,690	0,111	0,071	0,073
	1,557	1,675	0,118	0,076	
	1,686	1,802	0,116	0,072	
	1,670	1,791	0,121	0,072	
1:4 geschleu- dert	1,931	2,056	0,125	0,065	0,067
	1,891	2,015	0,124	0,069	
	1,638	1,748	0,110	0,067	
	1,981	2,115	0,134	0,068	
1:5 geschleu- dert	2,450	2,583	0,133	0,054	0,054
	1,885	1,988	0,103	0,055	
	2,801	2,950	0,149	0,053	
	2,492	2,616	0,134	0,054	
1:6 geschleu- dert	1,858	1,925	0,067	0,037	0,033
	1,934	1,992	0,058	0,030	
	2,477	2,553	0,076	0,031	
	2,119	2,184	0,065	0,033	

*) Trocken = Trockengewicht des Prüfkörpers in Gramm
Naß = Naßgewicht
Diff = Trockengewicht - Naßgewicht
Diff/g = Tränkungswert pro Gramm Duroc

Tabelle 5

	Trocken	Naß	Diff	Diff/g	Mittelwerte
Duroc 1:3 gerüttelt	1,844	2,072	0,228	0,136	0,145
	1,293	1,493	0,200	0,154	
	1,660	1,898	0,238	0,143	
	1,320	1,514	0,194	0,146	
1:4 gerüttelt	1,502	1,692	0,190	0,127	0,131
	1,292	1,460	0,168	0,130	
	1,537	1,738	0,201	0,131	
	1,361	1,545	0,184	0,136	
1:5 gerüttelt	2,255	2,428	0,173	0,077	0,077
	1,925	2,068	0,143	0,079	
	2,071	2,234	0,163	0,079	
	2,216	2,375	0,159	0,072	
1:6 gerüttelt	1,609	1,704	0,095	0,059	0,050
	2,273	2,379	0,106	0,048	
	2,359	2,484	0,125	0,053	
	2,058	2,141	0,083	0,040	



Kurve 2

Das Wasseraufnahmevermögen als Zeichen der Porosität von Duroc in Abhängigkeit vom Mischungsverhältnis Wasser : Pulver.

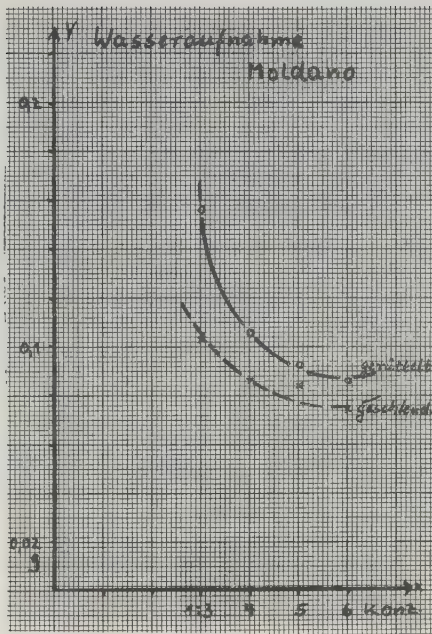
Graphische Auswertung der Tabellen 4 und 5.

Tabelle 6

	Trocken	Naß	Diff	Diff/g	Mittelwerte
Moldano 1:3 geschleudert	1,657	1,824	0,167	0,101	0,104
	1,468	1,616	0,148	0,101	
	1,493	1,662	0,169	0,114	
	1,659	1,827	0,168	0,101	
1:4 geschleudert	2,028	2,204	0,176	0,087	0,089
	2,138	2,335	0,197	0,091	
	1,858	2,028	0,170	0,092	
	1,858	2,018	0,160	0,087	
1:5 geschleudert	2,084	2,263	0,179	0,086	0,085
	1,147	1,244	0,097	0,084	
	1,162	1,260	0,098	0,084	
	0,766	0,831	0,065	0,085	
1:6 geschleudert	2,029	2,179	0,150	0,074	0,073
	1,862	1,956	0,094	0,051	
	1,328	1,432	0,104	0,078	
	1,545	1,680	0,135	0,087	

Tabelle 7

	Trocken	Naß	Diff	Diff/g	Mittelwerte
Moldano	1,520	1,769	0,249	0,164	
1:3 gerüttelt	1,530	1,783	0,253	0,165	0,157
	1,678	1,944	0,256	0,153	
	1,554	1,779	0,225	0,145	
	2,050	2,254	0,204	0,099	
1:4 gerüttelt	1,755	1,960	0,205	0,117	0,106
	1,882	2,090	0,208	0,115	
	2,145	2,346	0,201	0,094	
	2,073	2,267	0,194	0,094	
1:5 gerüttelt	1,671	1,825	0,154	0,092	0,093
	1,922	2,109	0,187	0,097	
	1,773	1,933	0,160	0,090	
	1,907	2,053	0,145	0,076	
1:6 gerüttelt	1,940	2,105	0,165	0,086	0,087
	1,615	1,764	0,151	0,094	
	1,716	1,864	0,158	0,092	



Kurve 3

Das Wasseraufnahmevermögen als Zeichen der Porosität von Moldano in Abhängigkeit vom Mischungsverhältnis Wasser : Pulver.

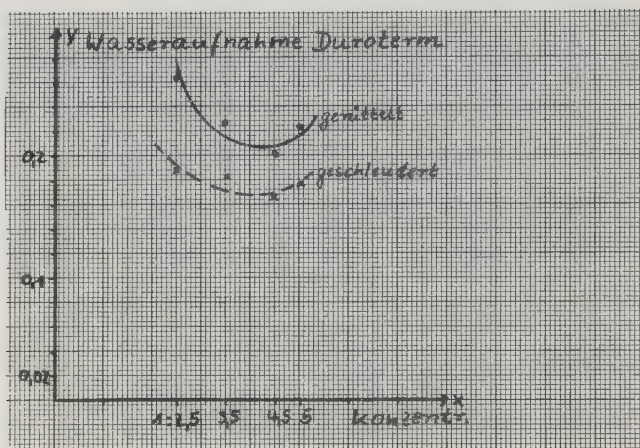
Graphische Auswertung der Tabellen 6 und 7.

Tabelle 8

	Trocken	Naß	Diff	Diff/g	Mittelwerte
Duroterm 1:2,5	0,632	0,761	0,129	0,204	
geschleudert	0,655	0,775	0,120	0,183	0,192
	0,771	0,914	0,143	0,186	
	0,769	0,927	0,158	0,193	
1:3,5	1,071	1,271	0,200	0,187	
geschleudert	1,220	1,438	0,218	0,179	0,186
	1,048	1,244	0,196	0,188	
	0,978	1,163	0,185	0,191	
1:4,5	1,690	1,967	0,277	0,164	
geschleudert	1,321	1,545	0,224	0,169	0,167
	1,619	1,899	0,280	0,172	
	1,875	2,177	0,302	0,161	
1:5	1,935	2,280	0,345	0,178	
geschleudert	1,638	1,919	0,283	0,172	0,177
	1,622	1,910	0,288	0,178	
	1,572	1,853	0,281	0,179	

Tabelle 9

	Trocken	Naß	Diff	Diff/g	Mittelwerte
1:2,5 gerüttelt	1,331	1,698	0,367	0,275	0,266
	1,415	1,795	0,380	0,268	
	1,277	1,616	0,339	0,265	
	1,358	1,703	0,345	0,254	
1:3,5 gerüttelt	1,347	1,649	0,302	0,224	0,232
	1,304	1,614	0,310	0,238	
	1,507	1,874	0,367	0,243	
	1,597	1,955	0,358	0,224	
1:4,5 gerüttelt	1,119	1,343	0,224	0,200	0,204
	1,126	1,351	0,225	0,199	
	1,889	2,213	0,424	0,225	
	1,219	1,455	0,236	0,193	
1:5 gerüttelt	1,176	1,448	0,269	0,229	0,225
	1,218	1,478	0,260	0,222	
	1,191	1,450	0,259	0,217	
	1,304	1,606	0,302	0,232	



Kurve 4

Das Wasseraufnahmevermögen als Zeichen der Porosität von Duroterm in Abhängigkeit vom Mischungsverhältnis Wasser : Pulver.

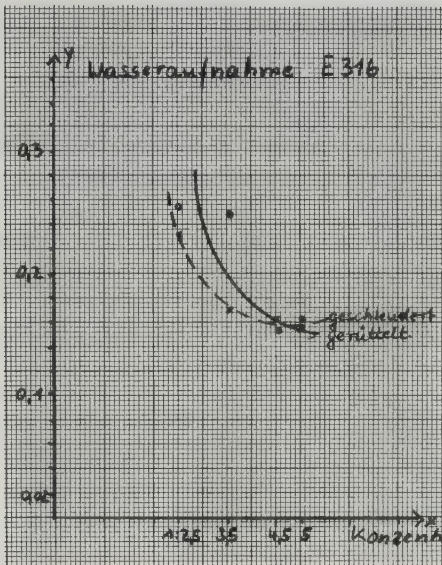
Graphische Auswertung der Tabellen 8 und 9.

Tabelle 10

	Trocken	Naß	Diff	Diff/g	Mittelwerte
E 316 1:2,5 geschleudert	1,281	1,596	0,315	0,248	0,232
	1,057	1,311	0,254	0,241	
	1,339	1,665	0,326	0,236	
	1,480	1,181	0,300	0,203	
1:3,5 geschleudert	1,637	1,934	0,297	0,181	0,169
	1,707	1,985	0,278	0,165	
	1,402	1,648	0,246	0,175	
	1,601	1,853	0,252	0,157	
1:4,5 geschleudert	1,765	2,060	0,295	0,167	0,162
	1,996	2,314	0,318	0,159	
	1,700	1,963	0,263	0,157	
	1,502	0,749	0,247	0,164	
1:5 geschleudert	1,585	1,809	0,224	0,141	0,148
	1,284	1,495	0,211	0,165	
	1,762	2,023	0,261	0,149	
	1,614	1,835	0,221	0,137	

Tabelle 11

	Trocken	Naß	Diff	Diff/g	Mittelwerte
E 316 1:2,5 gerüttelt	1,876	2,358	0,482	0,257	0,254
	1,796	2,248	0,452	0,251	
	1,651	2,073	0,421	0,255	
	1,977	2,474	0,497	0,251	
1:3,5 gerüttelt	1,317	1,643	0,326	0,248	0,249
	1,189	1,488	0,299	0,251	
	1,219	1,505	0,286	0,251	
	1,156	1,439	0,283	0,245	
1:4,5 gerüttelt	1,334	1,534	0,200	0,149	0,151
	1,380	1,583	0,203	0,148	
	1,652	1,917	0,265	0,160	
	1,460	1,682	0,222	0,149	
1:5 gerüttelt	1,918	2,221	0,303	0,158	0,151
	1,488	1,726	0,238	0,159	
	1,804	2,067	0,263	0,145	
	1,910	2,180	0,270	0,141	



Kurve 5:

Das Wasseraufnahmevermögen als Ausdruck der Porosität von E 316 in Abhängigkeit vom Mischungsverhältnis Wasser : Pulver.

Graphische Auswertung der Tabellen 10 und 11.

Auswertung der Versuchsergebnisse zur

Bestimmung der Porosität

Durch Einschleudern des Hartgipsbreies in den Abdruck ist eine wesentlich größere Dichte des Modellstumpfes zu erreichen. Bei Duroc im Verhältnis Wasser : Pulver wie 1:3 angerührt sinkt das Wasseraufnahmevermögen als Zeichen der Porosität von 0,145 g Wasser pro Gramm eingerüttelten Durocs auf 0,073 g/pro Gramm eingeschleuderten Durocs. Rührt man den Brei dicker an, etwa im Verhältnis Wasser : Pulver = 1:6, so resultiert daraus eine größere Dichte sowohl bei dem eingerüttelten als auch bei dem eingeschleuderten Duroc. Das Wasseraufnahmevermögen beträgt hier nur noch 0,050 g bzw. 0,033 g Wasser pro Gramm abgebundenen Durocs. Allerdings sei schon hier auf die sehr schlechte Oberfläche bei dieser dicken Breikonsistenz hingewiesen.

Moldano ist bei jedem Mischungsverhältnis etwas poröser als Duroc derselben Konzentration. Es zeigt sich aber sowohl beim Einschleudern als auch beim Einrütteln die gleiche Tendenz zur Abnahme der Porosität je dicker man anrührt. So sinkt das Wasseraufnahmevermögen bei Moldano mit dem Wasser : Pulververhältnis 1:3 von 0,157 g Wasser pro Gramm gerüttelten Moldanos, und auf 0,073 g Wasser pro Gramm geschleuderten Moldanos wenn dies mit einer Wasser : Pulverkonzentration 1:6 angerührt wurde.

Auch die Einbettmassen werden unter der Einwirkung der Zentrifugalkraft dichter. Ihr Wasseraufnahmevermögen ist grundsätzlich etwa doppelt so groß wie das der Hartgipse. Es sinkt beim Einschleudern von Duroterm einer Wasser : Pulverkonzentration von 1:2,5 von 0,266 g Wasser pro Gramm eingerüttelten Duroterms auf 0,192 g Wasser pro Gramm eingeschleu-

dersten Duroterms und auf 0,167 g Wasser pro Gramm eingeschleuderten Duroterms wenn dies ein Mischungsverhältnis von 1:4,5 hat.

Bei E 316 läßt sich am wenigsten von allen untersuchten Materialien die Porosität durch Einzentrifugieren herabsetzen. Bei Mischungsverhältnissen wie 1:4,5 oder 1:5 ist es fast gleichgültig ob man einrüttelt oder einschleudert. Dies Phänomen ist auch an Hand der späteren Pulveruntersuchungen nicht zu klären. Es hängt sicher von der Zusammensetzung des E 316 ab. Wahrscheinlich hat es einen größeren Bestandteil an Schamotte, das eine konstante Porosität hat, die durch den Schleudervorgang nicht beeinflusbar ist. Zudem ist der Unterschied in der spezifischen Dichte zwischen Schamotte und Wasser nicht sehr groß, ja dies ist u.U. sogar leichter als Wasser. In der Zentrifuge kommt es daher zu keiner so ausgesprochenen Sedimentation. Das Wasser wird genau wie beim Einrütteln nicht abgepreßt, auch nur z.T. zum Abbinden verbraucht, verdunstet später und bewirkt u.a. die Porosität.

IV. Die Oberflächenrauigkeit

a.) Die Oberflächenrauigkeit und Methoden für ihre Messung

Die amerikanische Begriffsbestimmung der ASA Norm von 1947 lautet: Rauigkeit entspricht den relativ fein verteilten Oberflächenunregelmäßigkeiten. Die Rauigkeit ist also einer gegebenenfalls vorhandenen welligen Oberfläche überlagert (nach LEHMANN). Welligkeiten kommen oft bis in das Gebiet der alltäglichen Größenabmaße, sie sind makrogeometrisch z.B. durch Schraubenlehren nachweisbar. Rauigkeiten gehören in das Gebiet der Mikrogeometrie, da sie entscheidend von der Feinstruktur des Materials abhängig sind. Eine raue Oberfläche zeugt von einem groben Gefüge. Sie ist also in erster Linie ein Merkmal des Werkstoffes selbst. Das Materialgefüge oberflächlich durch Graphitzusätze, Talkum oder Netzmittel (GRASSL) günstig zu beeinflussen, zeigte keinen Erfolg⁶⁾. Die üblichen Isoliermittel haben nicht nur die Aufgabe, ein Ankleben des Wachses am Modell zu vermeiden, sondern auch feinste Unebenheiten zu glätten, ohne jedoch die Paßfähigkeit des späteren Gußstückes zu beeinträchtigen. Weiterhin ist die Glätte der Einbettmassehohlform ausschlaggebend für paßgenaue Güsse. Sie ist wegen des grobkristallinen Gefüges der Masse nur schwer zu erreichen. BONSACK²⁾ empfiehlt das flüssige Metall mit möglichst geringer Tourenzahl einzuschleudern, da die Rauigkeit der Güsse mit der Umdrehungszahl zunähme.

In den vorliegenden Versuchen wurde von der Annahme ausgegangen, daß beim Einschleudern des Modellmaterials durch die Zentrifugalkraft eine Umlagerung des Gefüges quer zur Schleuderrichtung

stattfindet und daß die größten Kristalle am schnellsten sedimentieren, sich mit ihren glatten, ebenen Längsflächen parallel zur Oberfläche einstellen und somit eine größere Glätte bewirken.

Man kann die Oberflächenrauigkeit durch sehr viele Methoden erkennen und rechnerisch erfassen. U.a. durch den tastenden Finger, das Auge, und, indem man Quietschgeräusche erzeugt, durch das Ohr; durch Spieglungsfähigkeit, die allerdings täuschen kann (WINKLER), durch Lichtspaltprüfung, Formfaktorge-räte, die mit polarisiertem Licht arbeiten, durch das Plastic-Replica Verfahren, Auflicht- und Interferenzmikroskope, Schrägschnittverfahren, Licht-schnittverfahren und Kapazitätsmessungen zwischen der Oberfläche und einer aufgelegten Kondensator-platte¹⁶⁾. Die Industrie verwendet fast ausschließ-lich Tastergeräte¹⁰⁾, da sie besonders für serien-mäßige, schnelle Oberflächenprüfung von Werkstücken und Maschinenteilen geeignet sein sollen^{10/11)}.

b.) Versuchsanordnung

Für die Oberflächenuntersuchungen an den Werkstoffen Duroc, Moldano, Duroterm und E 316 wurden zunächst Kupferringe Größe 38-40-mit Petroläther gesäubert - auf Glasplättchen aufgewachst. In diese Ringe wurden Einbettmasse- und Hartgipsbrei mit steigendem Wasser:Pulververhältnis 20 sec lang ein-geschleudert bzw. die gleichen Massen 1 min lang auf dem Vibrator eingerüttelt. Nach dem Abbinden wurde das Glasplättchen vorsichtig gelöst und unter Wasser abgeschwemmt. Nach mehrtägigem Trocknen der Prüfkörper wurden die dem Glasplättchen zugewandten Oberflächen mit dem Rauhtester der Firma Leitz-Wetz-lar geprüft. Zur Prüfung konnten die Probekörper

mit Wasser : Pulverkonzentrationen von 1:6 für Hartgipse bzw. 1:5 für Einbettmassen nicht herangezogen werden, weil ihre Oberflächen so rauh waren, daß eine Profilmessung mit dem Tastgerät nicht mehr möglich war.

Der Rauhtester von Leitz ist ein reiner Profilkurvenschreiber (s. Abb. 6). Er birgt als rein mechanisches Instrument eine gewisse Grobheit der Wiedergabe. Die Tasterpyramide soll einerseits möglichst spitz sein und ihr Andruck groß genug, daß sie auch alle Rauhgigkeitstäler ausfährt. Andererseits darf sie den relativ weichen Gips nicht ritzen. Der Andruck der Tastnadel beträgt beim Leitz-Gerät $0,7 \text{ g}^{11)}$, so daß auch mikroskopisch kein Anritzen des Prüfkörpers festzustellen war. Die mechanischen Impulse der Tasternadel werden in elektrische umgewandelt und mit Hilfe eines Lichtpunkt-Linienschreibers als Profilkurve festgehalten.

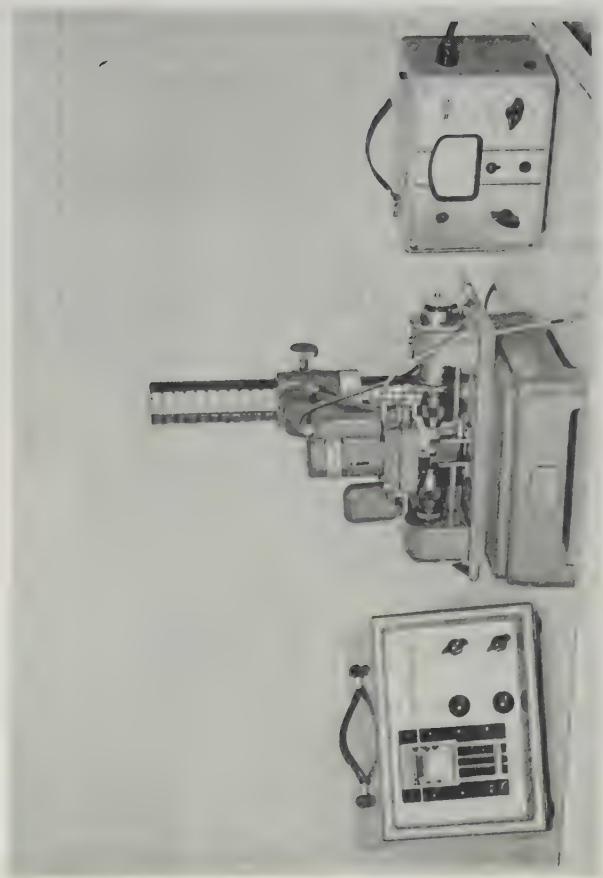


Abb. 6

Die beiden mechanischen Kennzeichen der Rauigkeit sind Vorschub V und Rauhtiefe $h_{\max}$; die senkrechte Vergrößerung zeichnet die Rauhtiefe auf, die waagerechte den Vorschub und die Welligkeit. Jedoch sind die Profilkurven der Tasterinstrumente verzerrt. Die horizontale Vergrößerung ist wegen der Übersichtlichkeit der Kurven wesentlich geringer als die Vertikale. Für die vorliegenden Rauigkeitsuntersuchungen wurde für alle Versuche eine senkrechte Vergrößerung von 1:1000 und eine waagerechte von 1:20 eingehalten.^{*)} Die dargestellten Profilkurven entsprechen somit einer Ablaufstrecke von 5 mm Oberfläche.

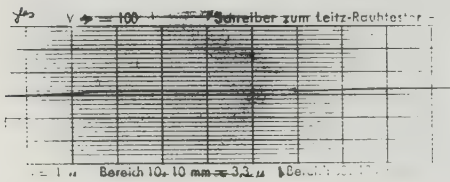


Abb.: 7 Oberfläche des Glasplättchens

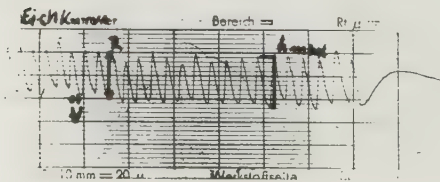


Abb.: 8 Eichkurve

Zur Auswertung der Kurven wurde $h_{\max}$ gemessen. Bei Oberflächen die keine zusätzliche Welligkeit besitzen ist dies die absolute Entfernung der höchsten Spitze bis zum tiefsten (zugehörigen) Tal. Dabei sind ausgesprochene "Ausreißer" nicht berücks-

^{*)} Im Fotodruck auf 2/3 verkleinert

sichtigt worden, weil sie, einmalig im Profilbild auftretend, als Artefakte angesehen werden mußten. Daß jedoch $h_{\max}$ nur Vergleichswerte liefert, und daß man daraus noch keine objektive Aussage über die Oberflächengüte machen kann, zeigen zwei Kurven, die beide gleiches $h_{\max}$ und gleichen Vorschub haben. Der Traganteil - auch Formfaktor - ist bei Kurve 1 wesentlich größer als der der Kurve 2



Die Industrie hilft sich bei ihren Oberflächenprüfungen mit Berechnung der tragenden Oberfläche, dem Völligkeitsgrad bzw. der Höhlungsfläche, dem Undichtigkeitsgrad, oder es werden mittlere Rauigkeiten mit Hilfe elektrischer Integration gemessen. Werden jedoch relativ wenige Messungen vorgenommen, so ist der direkte Profilkurvenvergleich am anschaulichsten, vorausgesetzt, daß vertikale und horizontale Vergrößerung in allen Untersuchungen gleichbleibend gewählt wurden, wie im vorliegenden Fall.

c.) Ergebnisse:

R = gerüttelt S = geschleudert

Tabelle 12

Duroc:

1:3 R $h_{\max}$	8 mm	entspr. 8 μ
1:3 S "	3 "	" 3 "
1:4 R "	5 "	" 5 "
1:4 S "	4 "	" 4 "
1:5 R "	1,5"	" 1,5 "
1:5 S "	1,5"	" 1,5 "

Tabelle 13

Moldano:

1:3 R $h_{\max}$	1,5 mm	entspr. 1,5 μ
1:3 S "	1 "	" 1 "
1:4 R "	2 "	" 2 "
1:4 S "	0,5 "	" 0,5 "
1:5 R "	2 "	" 2 "
1:5 S "	2 "	" 2 "

Tabelle 14

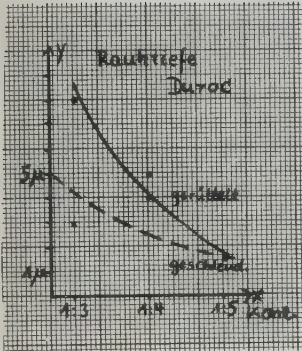
Duroterm:

1:2,5 R $h_{\max}$	= 11 mm	entspr. 11 μ
1:2,5 S "	5 "	" 5 "
1:3,5 R "	4 "	" 4 "
1:3,5 S "	3 "	" 3 "
1:4,5 R "	4 "	" 4 "
1:4,5 S "	3,5 "	" 3,5 "

Tabelle 15

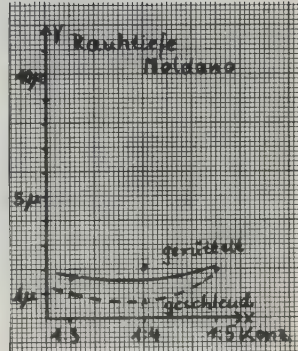
E 316:

1:2,5 R $h_{\max}$	16 mm	entspr. 16 μ
1:2,5 S "	9 "	" 9 "
1:3,5 R "	9,5 "	" 9,5 "
1:3,5 S "	7 "	" 7 "
1:4,5 R "	11 "	" 11 "
1:4,5 S "	12 "	" 12 "



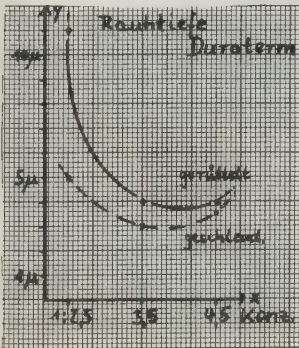
Kurve 6

Die Rauhtiefe in Abhängigkeit vom Mischungsverhältnis Wasser:Pulver bei Duroc
graphische Auswertung der Abb. 9-14



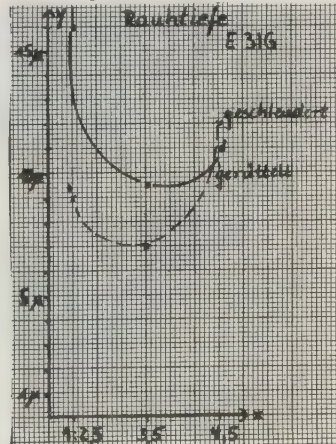
Kurve 7

Die Rauhtiefe in Abhängigkeit vom Mischungsverhältnis Wasser:Pulver bei Moldano
graphische Auswertung der Abb. 15-20



Kurve 8

Die Rauhtiefe in Abhängigkeit vom Mischungsverhältnis Wasser:Pulver bei Duroterm
graphische Auswertung der Abb. 21-26

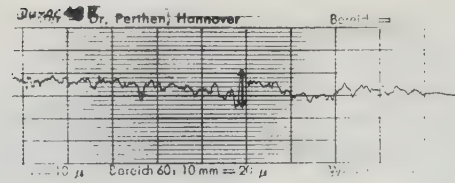


Kurve 9

Die Rauhtiefe in Abhängigkeit vom Mischungsverhältnis Wasser:Pulver bei E 316
graphische Auswertung der Abb. 27-32

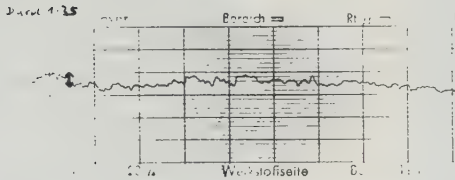
Profilkurve (Leitz-tester)

Abb. 9-14

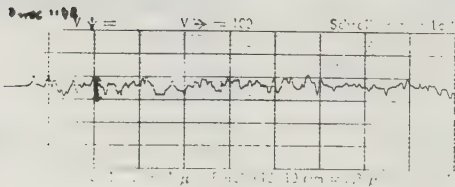


Duroc

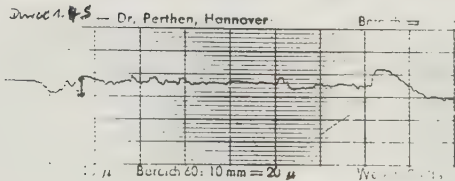
1:3 gerüttelt



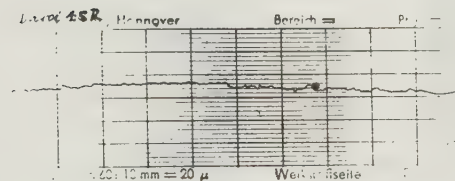
1:3 geschleudert



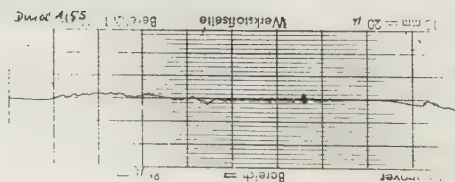
1:4 gerüttelt



1:4 geschleudert

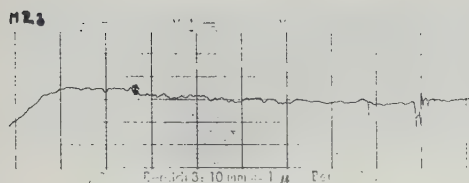


1:5 gerüttelt

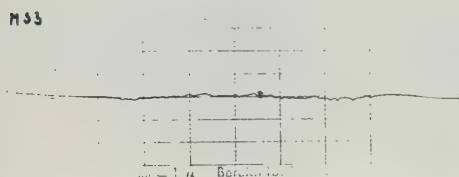


1:5 geschleudert

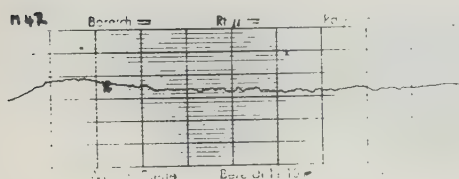
Abb. 15-20



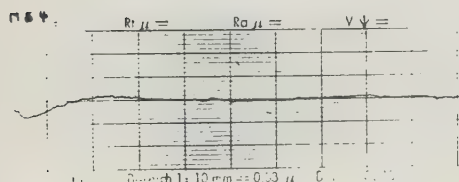
Moldano
1:3 gerüttelt



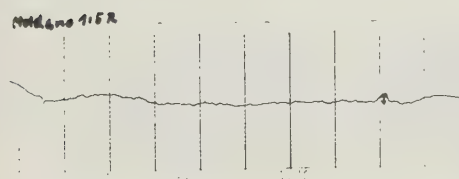
1:3 geschleudert



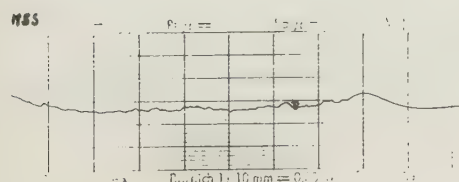
1:4 gerüttelt



1:4 geschleudert

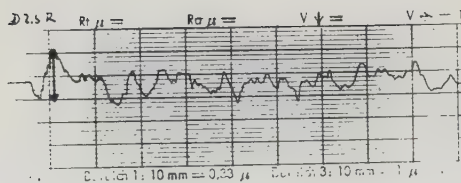


1:5 gerüttelt



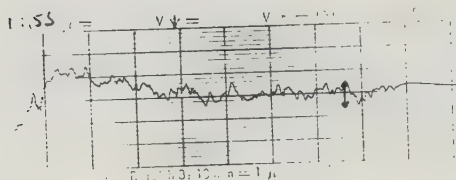
1:5 geschleudert

Abb. 21-26

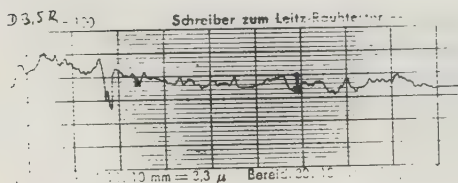


Duroterm

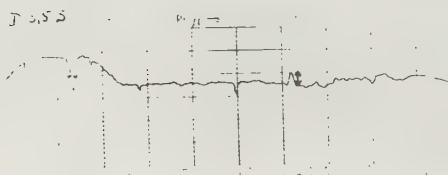
1:2,5 gerüttelt



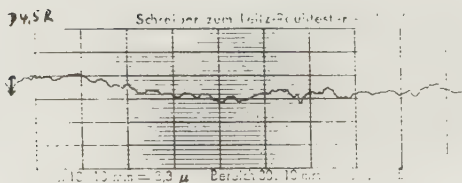
1:2,5 geschleudert



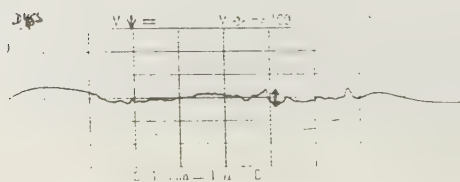
1:3,5 gerüttelt



1:3,5 geschleudert



1:4,5 gerüttelt



1:4,5 geschleudert

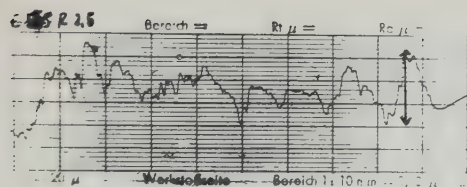
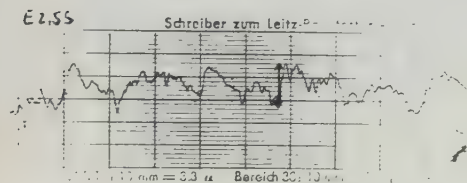


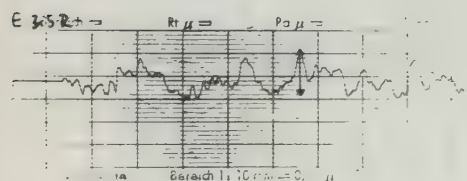
Abb. 27-32

E 316

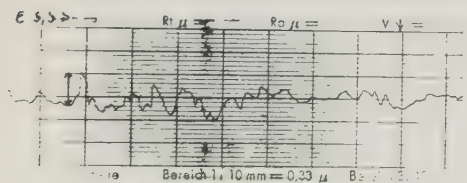
1:2,5 gerüttelt



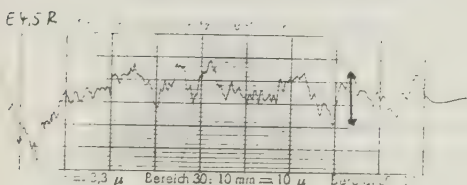
1:2,5 geschleudert



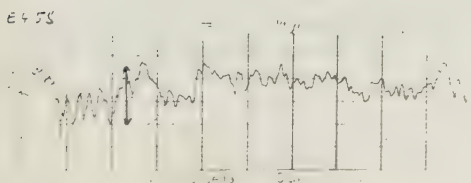
1:3,5 gerüttelt



1:3,5 geschleudert



1:4,5 gerüttelt



1:4,5 geschleudert

d.) Auswertung der Versuchsergebnisse zur
Bestimmung der Oberflächenrauigkeit

Wie aus den Abbildungen 9-32, aus den Tabellen 12-15 und aus den Kurven 6-9 ersichtlich ist, ist durch Einschleudern gegenüber Einrütteln eine Abnahme der Oberflächenrauigkeit zu erzielen. Dies gilt sowohl für Hartgipse als auch für Einbettmassen mit einem Wasser : Pulververhältnis bis etwa 1:3,5.

Bei den Hartgipsen mit dem Wasser : Pulververhältnis 1:3 sinkt durch Einschleudern die maximale Rauigkeit von 8μ auf 3μ bei Duroc und von $1,5$ auf 1μ bei Moldano. Moldano ist somit bei diesem Mischungsverhältnis wesentlich oberflächenglatter als Duroc. Dick angerührter Hartgips, etwa im Mischungsverhältnis 1:5, weist eine glattere Oberfläche auf, als dünner angerührter. Duroc maximal $1,5\mu$ und Moldano 2μ und zwar sowohl für gerüttelten als auch für geschleuderten Hartgips. Das heißt, daß nur bei dünnbreiig angerührten Hartgipsen die Oberflächenglätte durch Schleudern zu verbessern ist.

Die gleichen Ergebnisse zeigen die Einbettmassen. Bei Duroterm 1:2,5 angerührt sinkt die maximale Rauigkeit von 11μ auf 5μ , bei E 316 1:2,5 angerührt von 16μ auf 9μ wenn der Brei eingeschleudert wird. Duroterm ist also bedeutend glatter als E 316 (es sei hier auf die Ergebnisse der Kristalluntersuchungen hingewiesen). Auch dicker angerührte Einbettmasse ist wie dick angerührter Hartgips oberflächenglatter. Dabei ist jedoch die Rauigkeit durch Einschleudern nicht mehr wesentlich zu senken. Duroterm 1:4,5 angerührt zeigt eine maximale Rauigkeit von 4μ bei eingerüttelten und $3,5\mu$ bei eingeschleudertem Material; E 316 1:4,5 angerührt von 11 bzw. 12μ .

V. Die Kristallformen und Kristallgrößen

Es zeigte sich bei den Vorversuchen Va und Vb, die die Porosität in Abhängigkeit von der Schleuderzeit zum Thema hatten, daß durch Zentrifugieren zunächst die Porosität stark absinkt um wieder geringgradig anzusteigen, wenn man den Hartgips bis zum vollständigen Abgebundensein der Zentrifugalkraft aussetzt. Um diesem Phänomen nachzugehen wurden Versuche angeschlossen, die die Kristallform und -größe in Abhängigkeit von der Schleuderzeit aufzeigen sollten.

Um einen Einblick in die Struktur der Ausgangsmaterialien zu gewinnen, wurden zuerst einmal Pulverpräparate betrachtet. Anschließend untersuchten wir das Gefüge im abgebundenen Zustande an Hand von Dünnschliffen.

a.) Pulverpräparate

Die Pulver wurden hierzu in dem Kunststoff Araldit der Fa.Ciba suspendiert, auf einem Objektträger ausgestrichen, mit einem Deckglas abgedeckt und im polarisierten Licht betrachtet. Dabei zeigten sich folgende Kristallformen und -größen.

Duroc: Kristallform: kurze, dicke Nadeln

Kristallgrößen und -verteilung:

statistische Verteilung von 0,01 - 0,7 mm

Moldano: Kristallform: kurze, dicke Nadeln bis quadratische Blöcke

Kristallgrößen und Größenverteilung: statistisch

Verteilung von 0,01 bis 0,1 mm; größere Kristalle sehr selten (2 im Präparat 0,5 mm)

Duroterm: Kristallform: dicktaflig bis blockförmig

Kristallgrößen und Kristallverteilung:

0,01-0,8 mm. Prävalenz der Größen zwischen 0,2-0,15 mm

E 316: Kristallform: polymorph: quadratisch-blockförmig bis spitznädlig. Letztere prävalieren Kristallgrößen und -verteilung: Gleichmäßige Verteilung von 0,01-0,1 mm. Auf etwa 1000 Kristalle kommt ein Kristall von ca. 0,25 mm Länge. Noch seltener finden sich im Präparat Nadeln bis 0,5mm Länge.

Gesamtbild unruhiger als Duroterm sowohl in der Kristallform als auch in der Größenverteilung

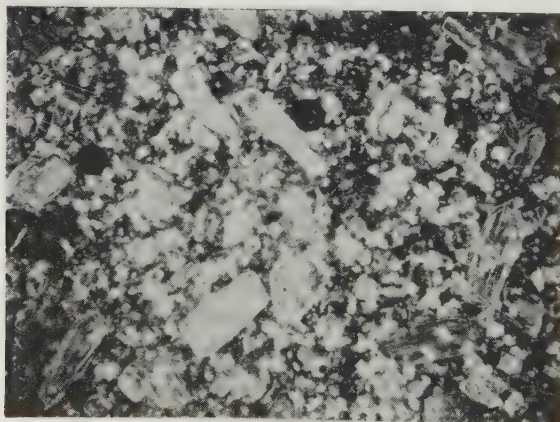


Abb.33: Pulverpräparat Duroc Vergr.50fach.*

b.) Dünnschliffe

Zur Herstellung der Dünnschliffe wurden Probekörper aus den vorhergehenden Versuchsreihen ausgewählt. Eine Seite der Prüflinge wurde nacheinander mit Schleifmitteln immer feinerer Korngröße (Feldmühle 600-1200) naß auf rotierenden Glasplatten plan geschliffen und anschließend unter Warmluftge-

*) Im Fotodruck auf 2/3 verkleinert

bläse getrocknet. Das Aufkleben des Prüfkörpers auf einen angerauhten Objektträger erfolgte mit Araldit + Härter 951 der Fa. Ciba, da der sonst in der Petrographie übliche Kanadabalsam zu hoch erhitzt werden muß, und eine Zerstörung der Dihydratkristalle zu befürchten war. (Dihydrat geht bei $95-110^{\circ}$ (FALCK) unter Abgabe von $1\frac{1}{2}$ Molekülen Wasser in Hemihydrat über.) Die aufgeklebten Probekörper werden nach 48 Stunden wieder nacheinander mit Schleifmitteln fallender Korngröße auf eine Dicke von ca. 30μ geschliffen und naß im polarisierten Licht mikroskopiert.

Bei der Betrachtung zeigen sich bei allen Schlif-
fen große Kristalle, die verstreut in einer krypto-
kristallinen Grundmasse liegen, so daß der Eindruck
entsteht, als seien durch den Abbindevorgang die
Kristalle nur verbacken, aber nicht zu größeren
Formen angewachsen. Sie zeigen die gleichen Formen
und Größen wie in den Pulvern.^{*)} Gut sichtbar sind
auch die Poren, die in den gerüttelten Prüfkörpern
zahlreicher sind als in den durch Einzentrifugieren
entstandenen. Unterschiede in Kristallform und
-größe zwischen eingerüttelten und eingeschleuderten
Prüfkörpern fanden wir jedoch nicht. Erst wenn man
so lange zentrifugiert bis das Material abgebunden
hat ändert sich die Kristallgröße (s. Abb. 35 u. 37).
Größen über 0,06 mm sind zwar im Pulver vorhanden,
im abgebundenen Gips hinterher jedoch nicht mehr.

Es muß daher angenommen werden, daß die Zentri-
fugalkraft den Kristallisationsvorgang stört, ein
Entstehen von größeren Kristallen vermeidet und
evtl. schon im Pulver vorhandene Hemihydratformen
zu kleineren Dihydratformen frakturieren.

Tatsächlich sind auf den Abb. 34-37 Frakt urspal-
ten in fast allen größeren Kristallen zu erkennen;
im Gegensatz zu den klar strukturierten Kristallen

^{*)} Pulverpräparate

im Pulverpräparat Abb.33. Außerdem sind in lange zentrifugierten Gipskörpern entsprechend dem größeren Wasseraufnahmevermögen zahlreiche Poren zu sehen, was auch eine Folge größerer nachkristalliner Durchbewegung (SANDER) sein könnte. Die Struktur und Packung der Gipskristalle während des Abbindevorgangs könnte durch die Zentrifugalkraft eine Zwangsstruktur sein, woraus sich eine größere Durchbewegung in der zweiten Abbindephase nach dem Einschleudern ergibt, die (SANDER) eine Porenvolumenvergrößerung zur Folge haben könnte. Hieraus wäre auch die Zunahme der Porosität von Hartgipsen bei langen Schleuderzeiten erklärlich. Zur Lösung dieses Problems sind jedoch umfassendere kristallographische Untersuchungen notwendig.

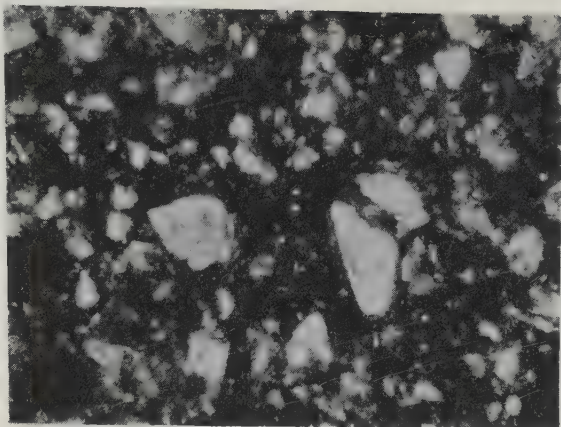


Abb.34: Duroc Dünnschliff Pulver:Wasser = 5:1
30 sec geschleudert Vergr.50fach *

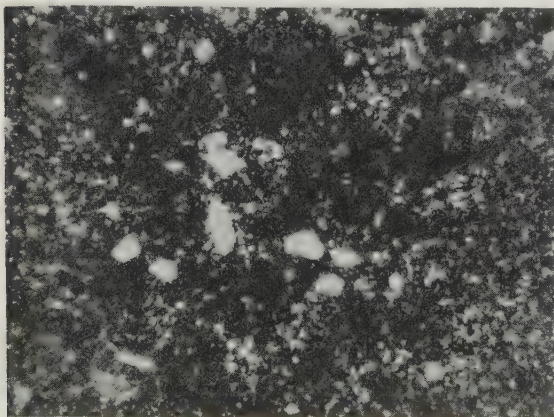


Abb.35: Duroc Dünnschliff Pulver:Wasser = 5:1
10 min geschleudert Vergr.50fach *

■

Im Fotodruck auf 2/3 verkleinert

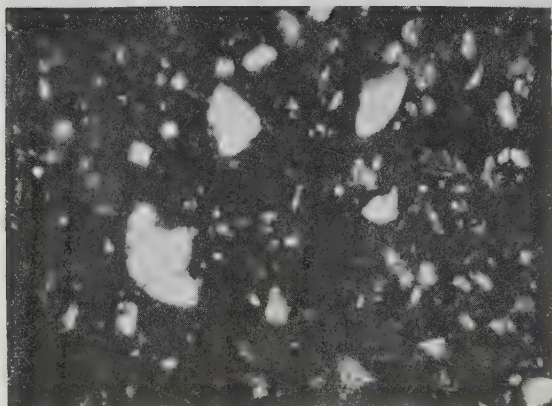


Abb.36: Moldano Dünnschliff Pulver:Wasser 5:1
30 sec geschleudert Vergr.50fach *

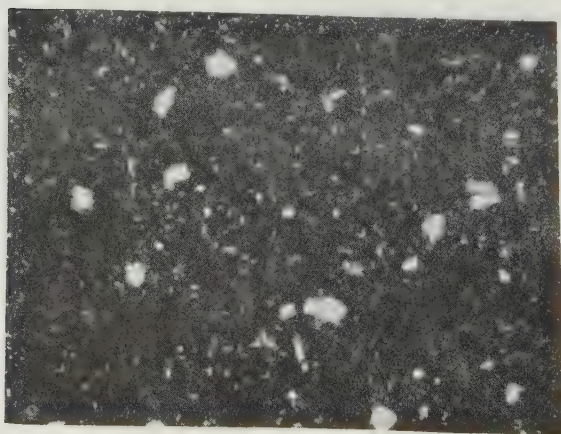


Abb.37: Moldano Dünnschliff Pulver:Wasser 5:1
10 min geschleudert Vergr.50fach *

*) Im Fotodruck auf 2/3 verkleinert

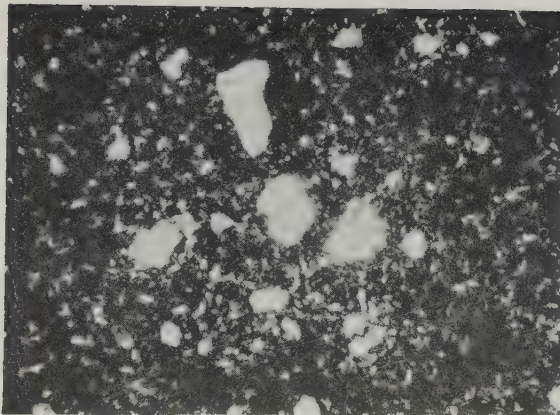


Abb.38: Duroterm Dünnschliff Pulver:Wasser 4:1
30 sec geschleudert Vergr.50fach *

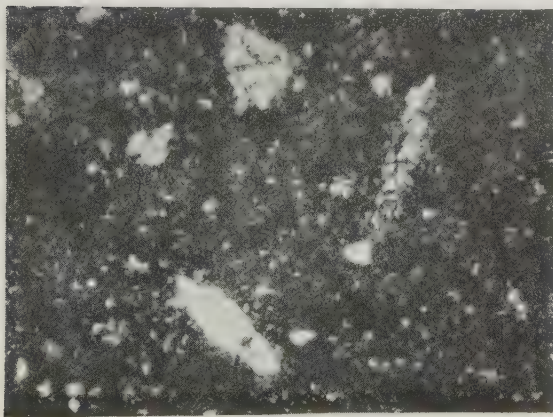


Abb.39: E 316 Dünnschliff Pulver:Wasser 4:1
30 sec geschleudert Vergr.50fach *

*) Im Fotodruck auf 2/3 verkleinert

C. Z U S A M M E N F A S S U N G

Die Zentrifugiermethode ist auf Grund der vorliegenden Ergebnisse geeignet zur Herstellung besonders glatter und kompakter, porenarmer Modellstümpfe aus Hartgipsen oder Einbettmassen. Außerdem spricht die um 80% gesteigerte Härte (ÖSTLUND) für die Anwendung dieser Methode.

Es ist zweckmäßig, eine Schleuderzeit von 20 sec zu wählen, da kürzeres Zentrifugieren eine größere Porosität bewirken. Andererseits ruft längeres Schleudern eine Zunahme der Porosität hervor, die ihre Ursache in einem Umbau des Kristallgefüges haben könnte. Diese Annahme stützt sich auf die polarisationsoptische Untersuchung an Dünnschliffen, bei der eine bemerkenswerte Abnahme der Kristallgrößen festgestellt wurde. Vorheriges Evakuieren des Gipsbreies ist nicht notwendig.

Bei den Hartgipsen Duroc und Moldano ist durch Einschleudern eine Verringerung der Porosität und eine Verbesserung der Oberflächenglätte zu erreichen. Das Wasseraufnahmevermögen als Zeichen der Porosität sinkt bei Duroc Wasser : Pulver wie 1:3 angemischt von durchschnittlich 0,145 g Wasser pro Gramm abgebundenen gerüttelten Durocs auf 0,073 g Wasser pro Gramm abgebundenen geschleuderten Durocs. Die maximale Oberflächenrauigkeit sinkt von 8μ auf 3μ . Bei Moldano 1:3 angemischt sinkt das Wasseraufnahmevermögen von 0,157 g auf 0,104 g und $h_{\max}$ von 1,5 auf 1μ . Moldano ist poröser, weist aber die wesentlich bessere Oberfläche auf. Ein weiteres Absinken der Porosität und eine größere Oberflächenglätte, ist durch Anmischen mit weniger Wasser zu erreichen. Duroc 1:5 gerüttelt nimmt pro Gramm nur noch 0,077 g Wasser auf, geschleudert

0,054 g. Wenn man Duroc also dick anrührt und stark rüttelt erreicht man die gleiche Porosität wie mit dünn angerührtem geschleuderten Duroc. Dick angerührter, geschleudertes Duroc ist jedoch noch wesentlich kompakter, d.h. porenarmer. Zudem weist er eine $h_{\max}$ von nur $1,5 \mu$ auf, unabhängig davon ob geschleudert oder nur gerüttelt wird. Durch Zusatz von noch weniger Wasser - entsprechend einem Mischungsverhältnis von 1:6 - ist eine weitere Abnahme der Porosität zu erreichen. Allerdings kann der krümelige Brei nicht mehr eingerüttelt, sondern nur noch eingestopft werden. Erkauft wird die geringere Porosität jedoch mit einer sehr schlechten Oberfläche.

Zusammenfassend ist über die Hartgipse zu sagen, daß hinsichtlich einer optimalen Oberfläche und geringen Porosität zum Schleudern und zum Einrütteln von Duroc fünf Teile Pulver und ein Teil Wasser angerührt werden sollten. Für Moldano ist ein Mischungsverhältnis von 1:4 optimal. Moldano zeigt zwar im Durchschnitt eine größere Porosität, hat aber eine wesentlich glattere Oberfläche.

Das Wasseraufnahmevermögen der Einbettmassen ist durch Einschleudern ebenfalls zu verringern. Die Porosität fällt von 0,266 g Wasser pro Gramm Duroterm gerüttelt auf 0,192 g pro Gramm Duroterm geschleudert. Das Minimum an Porosität weist Duroterm 1:4,5 geschleudert auf. 1 Gramm abgebundenes Duroterm nimmt 0,167 g Wasser auf. Das Optimum der Oberflächenrauigkeit liegt jedoch schon bei 1:3,5 und zwar für E 316 bei 7μ für Duroterm bei 3μ maximal. Da die Oberflächenglätte beim Guß von größerer Bedeutung ist als die Porosität, sollte man die Einbettmassen mit 1:3,5 Wasser : Pulververhältnis anrühren.

Duroterm hat durchschnittlich eine wesentlich glattere Oberfläche als E 316.

D. LITERATURVERZEICHNIS

1. BEEK; K.-H.: Wissenswertes über die Metallverarbeitung unter besonderer Berücksichtigung des Gußproblems, Zahnärztliche Welt 1954 H.24 S.686.
2. BONSACK, CH.: Der heutige Stand des Gußproblems, Deutsche zahnärztliche Zeitschrift 1953 H.1 S.5, H.2 S.67.
3. BUDZINSKI; G.: Vergleichende Untersuchungen über Einbettmassemodelle und die Paßform von ringförmigen Gußobjekten hergestellt nach der Wachsabdruck-Einbettmasse-Modellgußmethode und der Zentrifugiermethode, Diss.Marburg 1956.
4. CARLASSARE-TRAVAGLINI: Resistenza di modelli in gesso ottenuti con tre diversi metodi di colatura Minerva stomat. Torino 10, 1961 H.2 S.118.
5. DABER; R.: Anwendung der Kupferring-Wachsabdruckmethode zur Herstellung von Präzisionsgüssen in der zahnärztlichen Prothetik, Diss.Marburg 1955 Nr.378.
6. FALCK-WEIKART; K.u.P.: Werkstoffkunde für Zahnärzte, Hanser-Verlag-München 1959 S.172f, 176.
7. GROSSE; H.: Über den Wasserhaushalt des Kylvettengipses in Abhängigkeit vom Mischungsverhältnis und der Isolierung mit Calciumchlorid, Diss.Marburg 1953 (Nr.350).
8. HINTZE; C.: Handbuch der Mineralogie Gryter Verlag 1930 Bd.I,3, 2.Hälfte, S.4274-4297 (4294).
9. JANKE, G.: Gußfüllungen nach dem Kupferring-Wachsabdruck-Modellgußverfahren, D.Z.Z. 1955 H.23 S.1789.
10. LEHMANN; H.: Werkstoffkunde-Prüfung, Bd.I S.176, 238, 407
Bd.II S.239f, 243f
VEB Fackelbuchverlag Leipzig 1961.

11. LEITZ; Fa. E.: Oberflächenprüfgerät Rauhtester
12. MUENCH; F.C.: Über die Raumbeständigkeit
zahnärztlicher Gipse,
Zahnärztliche Rundschau 1935 Nr.51
Spalte 2220.
- 13a.OESTLUND; S.: Centrifugeringes m.m. betydelse
för ythårdheten hos preparations-
modeller av hårdgips,
Odontologisk Revy Vol.6 Nr.2 1955
S.183.
- 13b.OESTLUND; S.: Centrifugering som hjälpmedel vid
framställning av preparations-model-
ler,
Sveriges Tandläkarförbunds Tidning
Jg.50 Febr.1958, S.92ff.
14. SANDER; B.: Gefügekunde der Gesteine,
Springer Verlag Wien 1930 S.202.
15. SARRAZIN-ADAMSKA: Die Härte von Gipsmodellen die zur
Anfertigung von Zahnprothesen be-
nutzt werden,
Czas. stomat. Waszawa 10 H.4 (1957)
S.213.
16. SCHLESINGER; G.: Messung der Oberflächengüte,
Springer Verlag 1951 S.3-23,28,51-86.
17. SCHWINDLING-GENIESER;
R.u.H.: Volumenverhalten, Härte und Bruch-
festigkeit von zahnärztlichen Hart-
gipsen,
DZM u. Kieferheilkunde Bd.37 1962
Barth Leipzig S.317.
18. SPRENG; M.: Eine indirekte Goldinlaymethode,
Schweizerische Monatszeitschrift
für Zahnheilkunde 1929 H.11 S.641-663.
19. WIENHOLD; J.: Untersuchungen über die Volumen und
Formveränderungen der Modellwerk-
stoffe "Durit 20" und "Durit 40-22"
Diss.Marburg 1962.
20. WINKLER; H.: Das Problem der Frostbeständigkeit
von Dachziegeln,
Sonderdruck aus Berichten der Deut-
schen Keram. Gesellschaft
Bd.36 (1959) H.10 S.327-332.

Für die Überlassung des Themas und die
liebenswürdige Unterstützung bei der Planung
und Durchführung der vorliegenden Arbeit
danke ich meinem verehrten Lehrer
Herrn Professor Dr. Georg JANKE.

Lebenslauf

Am 14. September 1940 wurde ich als Tochter des praktischen Arztes Dr. Bernhard Fürer und seiner Ehefrau der Zahnärztin Dr. Erika Fürer, geb. Zeiger in Korbach geboren. Nach vier Jahren Volksschule in Korbach besuchte ich ab Ostern 1951 den naturwissenschaftlichen Zweig der Alten Landesschule in Korbach. Ostern 1960 legte ich dort die Reifeprüfung ab. Mein Zahnmedizinstudium begann ich an der Universität in Kiel; anschließend studierte ich an den Universitäten in Berlin und Freiburg. Im Herbst 1962 bestand ich in Marburg das Physikum in Zahnmedizin; im Herbst 1965 das Staatsexamen.

Ab Frühjahr 1962 studiere ich als Zweitfach Medizin und bestand im Herbst 1963 das Physikum in Medizin in Freiburg.

Meine akademischen Lehrer in Marburg waren die Damen und Herren Professoren und Dozenten:

Beckmann, Berendes, Braun-Falco, Buchholz, Dawert, Gedigh, Hennis, Hering, Heuser, Hildebrandt, Hornung, Janke, Koltmayer, Löhr, Mann, Martini, Marx, Maurath, du Mesnil, Neubauer, Niessing, Pantke, Petry, Pfütz, Poetschke, Rohen, Rosemann, Schiff, Schmid, Schwaiger, Seidel, Siegert, Siess, Streicher, Würterle,

in Kiel: Bargmann, Grewe, Juza, Kleinfeller, Kraft, v. Kugelgen, Lochte-Holtgreven, Schiebler, Uhlig,

in Berlin: Engel, Herrath, Kirsten, Schütte, Schwarz,

in Freiburg: Eschler, Fleckenstein, Holzer, Kröger, Motsch, Puff, Rehm, Schreiber, Schubotho.

